

2. Vavilova G.V., Ryumkin A.V. Detection of insulation defects in the wire through measuring changes in its capacitance //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2018. –№ 6– С. 012017.
3. Иоссель Ю.Я., Кочанов, Э.С., Струнский. М.Г. Расчет электрической емкости – Л.: Энергоиздат, 1981. - 288 с.
4. Вавилова Г.В., Гольдштейн А.Е. Прибор для технологического контроля погонной ёмкости электрического провода // Измерительная техника. – 2018. – № 3. – С. 46-50.
5. ГОСТ 11326.0-78. Радиочастотные кабели. Общие технические условия. [Электронный ресурс] – Введ. 1981.01.01. –Режим доступа: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/8070/> (дата обращения 15.03.2020).
6. Ли К., Исмагилов А. Контроль наличия дефектов провода по изменению электрической ёмкости// Сб. докладов IX Всероссийской научно-практической конференции «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских ВУЗОВ». – ТПУ –. 2019. – С. 99-105.

Ли Цзин (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Леонов Андрей Андреевич, инженер

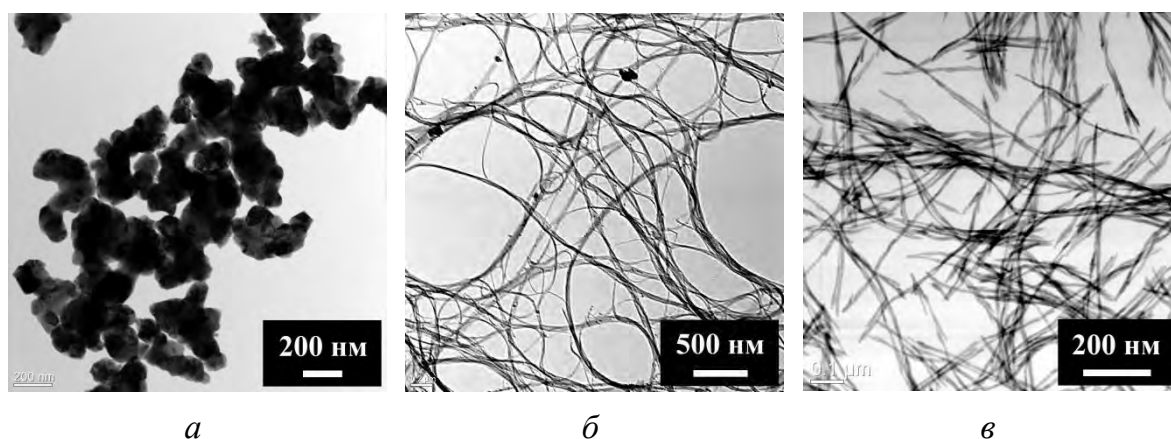
ПОЛУЧЕНИЕ АРМИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ И НАНОВОЛОКНАМИ Al_2O_3 КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ZrO_2 С ПОВЫШЕННОЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬЮ

Введение. Керамика обладает такими свойствами, как высокая твердость, термостойкость, химическая инертность, благодаря чему она используется во многих областях промышленности и медицины [1-3]. Однако низкая трещиностойкость керамики, ограничивает ее применение в некоторых случаях. Для повышения трещиностойкости керамики используют различные армирующие добавки, в частности углеродные нанотрубки (УНТ) и нановолокна Al_2O_3 [4]. Целью работы является получение композитов на основе ZrO_2 с одностенными углеродными нанотрубками (ОУНТ) и нановолокнами (НВ) Al_2O_3 с повышенными механическими свойствами.

Материалы и методы исследования. В качестве исходного сырья для создания композитов использовали нанопорошок частично стабили-

зирования иттрием (3 мол.%) диоксида циркония ZrO_2 (Tosoh, Япония), нановолокна Al_2O_3 марки «Fibrall» (OCSiAl, Россия) и одностенные углеродные нанотрубки марки «Tuball» (OCSiAl, Россия). Смешивание ОУНТ и НВ Al_2O_3 с нанопорошком ZrO_2 осуществляли в среде этанола с использованием ультразвуковой ванны и магнитной мешалки по методике, описанной в [5, 6]. Получали композитные порошки с 0,1, 0,5 и 1 мас. % ОУНТ и с 1, 5, 10 мас. % НВ Al_2O_3 . Из полученных порошков изготавливали компакты одноосным односторонним прессованием при 100 МПа, используя пресс ИП-500М-авто (ЗИПО, Россия). Спрессованные компакты спекали в высокотемпературной вакуумной печи VHT 8/22-GR (Nabertherm, Германия) в течение 2 ч при температуре 1500 °С. Трещиностойкость (критический коэффициент интенсивности напряжений, KIC) композитов определяли на твердомере ТП-7Р-1 (ЗИП, СССР), индентировав полированную поверхность композита алмазной пирамидкой Виккерса при нагрузке 5 кг. Значения KIC рассчитывали с использованием уравнения Anstis [7].

Результаты и их обсуждения. Нанопорошок ZrO_2 (рис. 1а) содержит наночастицы формой близкой к равноосной и содержит агрегаты наночастиц нерегулярной формы. ОУНТ (рис. 1б) представляют собой пучки уплощенной, лентообразной формы размерами от 10 нм до 40 нм, встречаются и крупные пучки размером более 200 нм. Нановолокна Al_2O_3 (рис. 1в) имеют игольчатую форму диаметром от 5 нм до 15 нм.



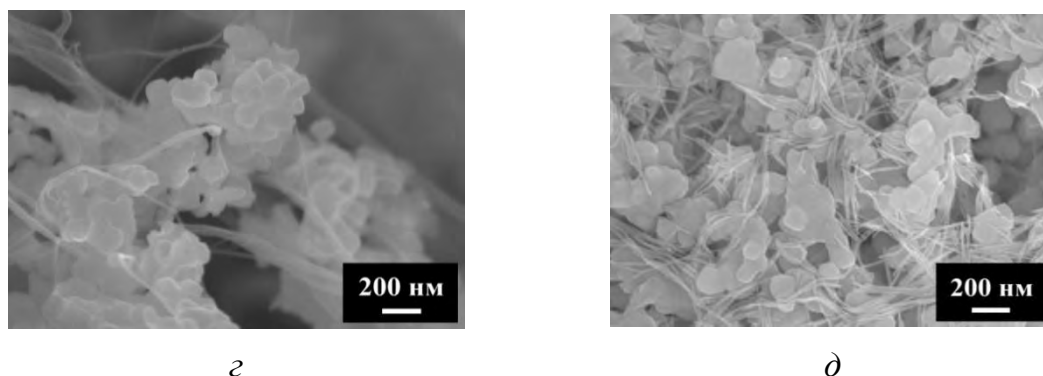


Рис. 1. ПЭМ изображения: нанопорошка ZrO_2 (а); одностенных углеродных нанотрубок (б); нановолокон Al_2O_3 (в) и СЭМ изображения: композитного порошка ZrO_2 с 1 мас.% ОУНТ (г) и композитного порошка ZrO_2 с 5 мас.% НВ Al_2O_3 (д).

На рис. 1г представлено СЭМ изображение композитного порошка ZrO_2 с 1 мас.% ОУНТ из которого видно, что пучки ОУНТ хорошо распределены среди наночастиц ZrO_2 , они опутывают отдельные наночастицы ZrO_2 и их ансамбли, тем самым создавая сетчатые каркасные структуры. Из СЭМ изображения для композитного порошка ZrO_2 с 5 мас.% НВ Al_2O_3 (рис. 1д) видно, что нановолокна спонтанно ориентированы и достаточно равномерно распределены в объеме матрицы ZrO_2 .

В спеченных композитах наблюдается плавное снижение относительной плотности с 99,20 % (керамика ZrO_2) до 97,52 % (композит с 1 мас. % ОУНТ) и до 95,01 % (композит с 10 мас. % НВ) при увеличении армирующих добавок до максимального значения в выбранных диапазонах концентраций, т.к. высокие концентрации волокнистых, армирующих добавок подавляют проскальзывание и перегруппировку наночастиц ZrO_2 в процессе уплотнение/спекание композитов.

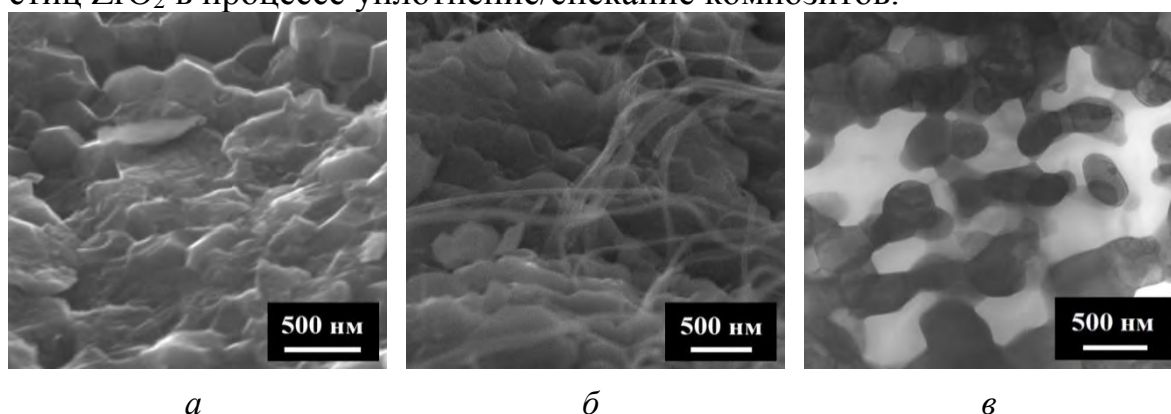


Рис. 2. СЭМ изображения поперечных сколов, показывающие микроструктуру: керамики ZrO_2 (а) и композита ZrO_2 с 1 мас.% ОУНТ (б); ПЭМ изображение, показывающее микроструктуру композита ZrO_2 с 10 мас. % НВ Al_2O_3 (в).

При исследовании микроструктуры спеченных образцов, установлено, что в керамике ZrO_2 проявляется преимущественно транскристаллитный характер разрушения (рис. 2а), а в композите с ОУНТ (рис. 2б) наблюдается разрушение смешанного характера (межкристаллитное и транскристаллитное). Из рис. 2б видно, что ОУНТ сохраняют свою структуру после высокотемпературного спекания и, что пучки ОУНТ располагаются не только по границам зерен, некоторые встроены в объем зерна [8, 9]. Из рис. 2в видно, что нановолокна Al_2O_3 спекаются в зерна нерегулярной формы, в некоторых случаях сложной вытянутой формы. Средний размер зерна керамики составляет 548 нм, композита ZrO_2 с 1 мас.% ОУНТ – 469 нм, композита ZrO_2 с 10 мас. % НВ Al_2O_3 – 439 нм.

Из рис. 3а видно, что трещиностойкость композитов с ОУНТ выше трещиностойкости керамики ZrO_2 , однако при увеличении содержания ОУНТ, трещиностойкость практически не изменяется и колеблется около среднего значения $4,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Композит ZrO_2 с 1 мас.% ОУНТ полученный из этого же композитного порошка электроимпульсным плазменным спеканием имел значение трещиностойкости равное $5,48 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [10], что выше такового для композита полученного свободным спеканием. По мере увеличения содержания НВ Al_2O_3 в композитах наблюдается повышение трещиностойкости (рис. 3б) с достижением максимального значения ($6,03 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) при добавке 10 мас.% НВ Al_2O_3 , что на 46 % выше значения трещиностойкости, полученного для керамики ZrO_2 ($4,13 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).

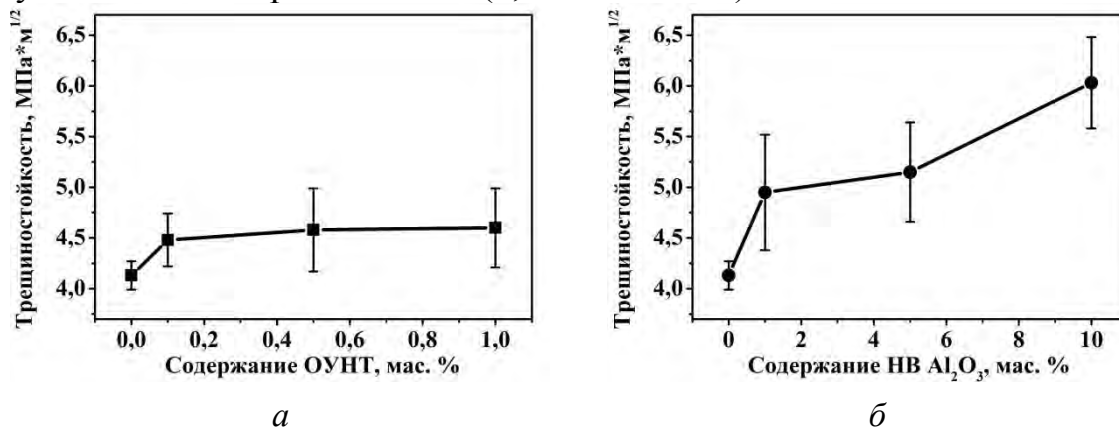


Рис. 3. Зависимости трещиностойкости композитов от содержания ОУНТ (а) и НВ Al_2O_3 (б).

Повышение трещиностойкости композитов с ОУНТ объясняется присутствием пучков ОУНТ в микроструктуре (рис. 2б), которые препятствуют распространению трещин. В композитах с НВ Al_2O_3 , при столкновении кончика трещины с зерном Al_2O_3 происходит разрушение

этого зерна и вытягивание его из матрицы, вследствие чего возникает зигзагообразное распространение трещины.

Выводы. Композиты на основе ZrO_2 , армированные ОУНТ и НВ Al_2O_3 с повышенной трещиностойкостью могут быть получены свободным спеканием. Для композита с 1 мас. % ОУНТ наблюдается увеличение трещиностойкости на 11 %, а для композита с 10 мас.% НВ Al_2O_3 на 46 % по сравнению с керамикой ZrO_2 . Улучшение трещиностойкости композитов, связано с достаточно равномерным распределением армирующих добавок в объеме матрицы, где пучки ОУНТ и зерна Al_2O_3 испытывает приложенную нагрузку индивидуально, нагрузка сосредоточена в граничной области между волокнистым наполнителем и матрицей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Керамические материалы на основе диоксида циркония / Под общей ред. Ю.И. Головина. – М.: Техносфера, 2018. – 358 с.
2. Leonov A.A., et al. Structure and properties of the surface layer of «Ti/SiC-ceramic» system irradiated by low-energy pulsed electron beam // J. Phys.: Conf. Ser. – 2018. – V. 1115. – P. 032040. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1115/3/032040>
3. Ivanov Yu., et al. Multilevel hierarchical structure formed in the film (Ti)/substrate (SiC-ceramics) system under irradiation by an intense pulsed electron beam // AIP Conference Proceedings. – 2018. – V. 2051. – P. 020110. <https://doi.org/10.1063/1.5083353>
4. Palmero P. Structural ceramic nanocomposites: A review of properties and powders' synthesis methods // Nanomaterials. – 2015. – V. 5. – P. 656-696. doi: 10.3390/nano5020656
5. Leonov A.A. and Abdulmenova E.V. Alumina-based composites reinforced with single-walled carbon nanotubes // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2019. – V. 511. – P. 12001 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/511/1/012001>
6. Leonov A. Effect of alumina nanofibers content on the microstructure and properties of ATZ composites fabricated by spark plasma sintering // Materials Today: Proceedings. – 2019. – V. 11. – P. 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.12.108>
7. Anstis G. R. et al. A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness: I, direct crack measurements // J. Am. Ceram. Soc. – 1981. – V. 64. – P. 533–538.
8. Leonov A.A., et al. Effect of electron beam irradiation on structural phase transformations of zirconia-based composite reinforced by alumi-

- na nanofibers and carbon nanotubes // J. Phys.: Conf. Ser. – 2019. – V. 1393. – P. 012106. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1393/1/012106>
9. Leonov A.A., et al. Spark plasma sintering of ceramic matrix composite based on alumina, reinforced by carbon nanotubes // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2017. – V. 286. – P. 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/286/1/012034>
10. Леонов А.А., и др. Керамический композит на основе диоксида циркония, армированный одностенными углеродными нанотрубками // Российские нанотехнологии. – 2019. – Т. 14, № 3-4. – С. 32–38. <https://doi.org/10.21517/1992-7223-2019-3-4-32-38>

Лю Лун (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Воронова Гульнара Альфридовна, к.х.н., доцент

ПОЛУЧЕНИЕ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ТЕМПЛАТНОГО СИНТЕЗА НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ КОБАЛЬТА

Цель работы: разработка метода темплатного синтеза наноразмерных частиц кобальта

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Анодными оксидами или анодными оксидными пленками (АОП) называются оксидные слои, которые образуются на поверхности ряда металлов и полупроводников поляризации в растворах электролитов [1]. В качестве таких матриц для создания упорядоченных наноструктур полупроводников возможно использование репликации структуры анодного оксида алюминия. Структура таких пленок содержит систему упорядоченных пор с плотнейшей гексагональной упаковкой. При этом поры располагаются перпендикулярно поверхности подложки, а их диаметр, равно как и расстояние между соседними порами, можно варьировать в широких пределах (диаметр пор – от 2 до 350 нм, расстояние между порами – от 5 до 500 нм). Пленки анодного оксида алюминия применяют в качестве неорганических мембран, темплатирующего материала для синтеза нанонитей или нанотрубок с контролируемым диаметром и высокой геометрической анизотропией. Достижения последних лет в области наносборки с использованием пористого оксида алюминия включают использование материалов на его основе в качестве магнитных устройств хранения информации с высокой плотностью за-